

中国建筑高层建筑技术优秀论文集

中国建筑股份有限公司 编著



中国建筑工业出版社

中国建筑

高层建筑技术优秀 论 文 集

中国建筑股份有限公司 编著

中国建筑工业出版社

图书在版编目(CIP)数据

中国建筑高层建筑技术优秀论文集 / 中国建筑股份有限公司编著. —北京: 中国建筑工业出版社, 2012. 4
ISBN 978-7-112-14128-9

I. ①中… II. ①中… III. ①高层建筑—建筑设计—文集 IV. ①TU972-53

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2012) 第 041977 号

本书收录了关于高层建筑技术方面的优秀论文 26 篇, 包括超高性能自密实混凝土的研发及其超高泵送技术; 钢管混凝土结构在天津津塔工程中的应用; 大直径球型钢结构超高空安装方法的创新实践; 高层建筑基坑降水回收利用绿色新技术在施工中的应用; 附着升降式脚手架在超高层渐变结构中的设计及应用等。收录的文章理论水平高、针对性强, 且具有较高的指导意义, 并且对项目的背景、研究思路、方法进行了深入的探讨, 并形成了相应结论。

本书可供建筑设计、施工和管理人员使用。

* * *

责任编辑: 付 娇 常 燕

中国建筑高层建筑技术优秀论文集

中国建筑股份有限公司 编著

*

中国建筑工业出版社出版、发行 (北京西郊百万庄)

各地新华书店、建筑书店经销

北京国民图文设计中心制版

北京京丰印刷厂印刷

*

开本: 787×1092 毫米 1/16 印张: 12½ 字数: 304 千字

2012 年 4 月第一版 2012 年 4 月第一次印刷

定价: 28.00 元

ISBN 978-7-112-14128-9
(22180)

版权所有 翻印必究

如有印装质量问题, 可寄本社退换

(邮政编码 100037)

前 言

随着社会经济的发展和科学技术的进步，人类发展超高层建筑成为可能，也成为一种精神需求。超高层建筑带动了整个建筑业的发展，以及材料、信息技术、设备制造等行业的快速进步。超高层建筑减少了地面建筑的密度，满足了人口增长和经济发展的需求，造福了人类。

超高层建筑的发展已有百年历史。1931 年竣工的美国帝国大厦（高 381m）是早期超高层建筑的代表，2010 年启用的迪拜哈利法塔（高 828m）是现代超高层建筑的顶峰。近年来我国超高层建筑进入高速发展期，据不完全统计，到 2010 年底中国大陆建成的 200m 以上的超高层建筑数量已经超过 350 栋，全世界已建成的排名前十的高层建筑中，有 6 幢在中国。目前大陆已建成的 300m 以上建筑中，超过 90% 由中国建筑承建。

为了加强高层建筑设计与施工技术研究，全面探讨国内外高层建筑设计、施工现状与发展前景，分析高层建筑设计与施工中存在的主要问题和解决措施，有效提高建筑施工质量，控制工程成本，提高效益，中国建筑科技与设计管理部面向中国建筑系统内各子企业有关技术工作者进行征文，征集论文 80 余篇，经过审阅会评，遴选了 26 篇编纂成《中国建筑高层建筑技术优秀论文集》（以下简称《论文集》）一书，由中国建筑工业出版社正式出版发行。本《论文集》内容涉及超高层建筑深基坑支护、地基基础、钢—混凝土组合结构、机电安装、装修等方面的设计与施工技术。包括广州珠江新城西塔 C100 混凝土泵送到 411m 高技术、天津津塔（336.9m）的钢管混凝土柱框架+纯钢板剪力墙+外伸刚臂和带状桁架施工技术、中央电视台新址有关新设备、新材料的施工技术、青岛海湾新城超高层酒店弹塑性地震反应分析等设计施工技术总结。

本《论文集》中收录的文章理论水平较高、针对性强，具有较高的指导意义。收录的文章针对项目的背景、研究思路、方法进行了深入的探讨，并形成了相应结论，供广大工程技术和管理人员作为工程实践及参考使用。

本《论文集》中论文作者及编者虽然对稿件进行了认真的推敲和校阅，但由于水平和能力有限，难免有错误和不当之处，恳请给予我们支持和关注的各位专家、学者、读者批评和指正。

目 录

超高性能自密实混凝土的研发及其超高泵送技术	1
钢管混凝土结构在天津津塔工程中的应用	13
CCTV 新址大型空调箱隔振技术	20
大直径球形钢结构超高空安装方法的创新实践	27
青岛海湾新城 A 区超高层酒店弹塑性地震反应分析	34
通过补偿收缩混凝土应用实现无缝施工的技术研究	44
高层建筑基坑降水回收利用绿色新技术在施工中的应用	50
附着升降式脚手架在超高层渐变结构中的设计及应用	54
塑性混凝土冲孔灌注咬合桩在海滨人工填石层施工止水帷幕的应用	65
超高超重空中连廊液压整体提升施工技术	70
超高层建筑施工测量	78
超高层建筑机电工程管井立管“倒装法”施工技术	88
全铝合金模板施工技术在超高层建筑施工中的应用	94
西塔超高泵送系统介绍	101
超高层基础底板大体积混凝土施工技术	106
高层钢结构建筑 CH 形轻钢龙骨石膏板隔墙系统施工技术	112
有关超高层建筑中途转输水箱设置的探讨	120
超高层双连体核心筒竖向配筋密集情况下的并筋技术	126
超高钢板剪力墙结构精密测量技术研究与实施	130
顶升钢管混凝土箱形钢柱膨胀变形的原因分析及对策	138
超高层住宅建造及运营经济性研究	145
超高层钢—混凝土混合结构竖向错层阶梯施工研究	153
蝶形住宅建筑抗震性能分析	162
超高层建筑电气设计的几点体会	171
基于 ABAQUS 整体结构动力弹塑性计算方法应用研究	178
无锡恒隆项目空调水系统深化设计要点分析	185

超高性能自密实混凝土的研发 及其超高泵送技术

叶浩文¹ 冯乃谦² 张杰华³ 顾国荣⁴ 徐立斌⁵ 余 斌⁶

(1、3、4、5—中国建筑股份有限公司—广州建筑集团有限公司联合体；

2—清华大学；6—广州天达混凝土有限公司)

[摘 要] 本文研究了强度等级为 C100 的超高性能自密实混凝土及其超高泵送技术。以天然沸石粉及特种外加剂配制的超高性能自密实混凝土，具有高流动性、高黏性、高保水性能及可泵性。在施工应用时，将这种混凝土泵送至 411m 的高度，能均匀流过钢筋，填充模板，UHP—SCC 28d 强度能满足 C100 强度等级的要求，并与振动成型的混凝土具有相同的强度。而且这种含有特种外加剂及天然沸石粉的超高性能自密实混凝土比基准混凝土具有更高的性能。

[关键词] 超高性能自密实混凝土 天然沸石粉 特种外加剂 超高 (411m) 泵送

1 引 言

高性能混凝土 (HPC)、超高性能混凝土 (UHPC) 以及自密实混凝土 (SCC)，最初都是在国外发展起来的。

挪威是最初研发和应用 HPC 的国家之一。在沿海钢筋混凝土结构及海上石油平台的建设中，在混凝土中，掺入了硅粉，结果不但提高了强度、耐久性，还提高了流动性，改善了施工性能。这样，仅用 1 项或 2 项指标是不可能概括这种混凝土的性能，只有用高性能才能全面概括，高性能混凝土就应运而生了。1987 年在挪威的 Stavanger 召开了第一次 HS/HPC 的国际会议。这时挪威的混凝土强度已由原来的 50MPa 发展到 100MPa。

随着粉体技术的发展及聚羧酸高效减水剂的出现，使混凝土的水胶比达到了 0.15，甚至更低，这时混凝土 28d 抗压强度可以达到或超过了 140MPa。而无粗骨料，由水泥砂浆加入纤维配制而成的新材料（国外称之为 UHPC）强度达到了 250MPa，并在工程中得到应用。在国际上一般把抗压强度 $\geq 100\text{MPa}$ 的混凝土称之为 UHPC。UHPC 比 HPC 除了具有更高的强度外，更主要的是具有更高的耐久性。用于超高层建筑的底层柱及大跨度结构中，可使结构断面尺寸减小，可利用的空间和面积增大，结构使用年限延长，是一种省资源、省能源与环境友好型的新材料。

在国内，首项工程使用 C60 高性能混凝土的是广东省国贸大厦（当时叫 63 层）。重庆建筑工程学院，在完成国家重点项目科学基金的过程中，在试验室配制出了强度超过 100MPa 的 UHPC。北京、沈阳、深圳及上海等地相继报导在工程中应用了 C100 的 UHPC。如沈阳大西电业园、沈阳富林大厦、北京国家大剧院等工程。但是，国内还没有报导施工应用过 C100 的自密实混凝土。国外，在 20 世纪 80 年代就研究开发了自密实混凝土。日本东京大学土木系最早开发了自密实混凝土，在明石大桥的桥墩施工应用了 26

万 m^3 的 SCC。与此同时,瑞士也开发了该项研究,用于自流平地面。但是这些 SCC 的强度等级均在 C50 以下。SCC 在施工过程中,浇筑入模后,不需要任何振动就可以自密实,免除了施工过程的噪声污染,对于钢筋密度大的钢筋混凝土结构尤为适宜。

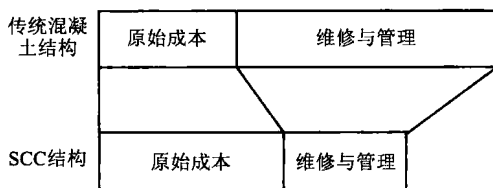


图 1 SCC 结构与传统混凝土结构的费用对比

国外有关资料报导, SCC 结构与传统的混凝土结构相比,虽然原始成本偏高,但维修与管理费大大降低,使 SCC 结构的总成本低于传统混凝土结构的成本,如图 1 所示。

因此, UHP—SCC 是一种研发和生产的技术难度大,但便于施工应用的一种新型环境友好型的混凝土。

2 UHP—SCC 的配制技术

UHP—SCC 在配制过程中,其特点是 W/C (W/B) 更低,胶凝材料用量比 HPC 更多,新拌混凝土的黏性更大,施工更困难,特别是泵送施工,而且自收缩值大,往往会给混凝土带来早期开裂。

2.1 原材料的选择

(1) 粗、细骨料的选择

粗骨料的岩种、粒径、粒形、级配、吸水率及在混凝土中的体积含量,对 UHPC 的强度、可泵性及耐久性等均有很大影响。本课题针对广州周边所能提供的花岗岩碎石进行分类检测, UHP—SCC 对骨料的要求为: 5~10mm 的 10%, 10~16mm 的 90%; 粗骨料的体积含量均要控制在 $400\text{L}/\text{m}^3$ 的范围内。特别是 UHP—SCC 中的粗骨料的体积含量更低。细骨料一般采用中偏粗的河砂,细度模数一般为 2.6~2.8。砂子过粗容易产生泌水,流动性、均匀性不好;太细需水量大,流动性差。

(2) 胶凝材料的选择

配制 UHPC 及 UHP—SCC 时,所用胶凝材料均由水泥 (PII 型 52.5 硅酸盐水泥) + 硅粉 + 超细矿渣粉复配而成。这三种粉体之间的适当比例,通过流动性等试验确定。

(3) 高效减水剂的选择

主要选用聚羧酸高效减水剂,当时采用西卡和科杰的产品。

(4) 特种外加剂的应用

我们研发和应用了两种矿物外加剂,一种是能增稠保塑的专利产品 (专利号 ZL200610000802.8),另一种是我国独有的矿物超细粉 (天然沸石超细粉)。利用这两种矿物外加剂,配 C50 的 SCC 和 C100 的 SCC 时,混凝土拌合物的黏聚性甚佳, U 形流动仪试验时上升高度均达到 32cm,而且能保塑 4h。

2.2 配合比的选择

(1) 单方用水量的确定

本研究参考了日本 marushima 研究的结果,在 UHP—SCC 配合比试验时,单方混凝土用水量为 $150\text{kg}/\text{m}^3$ 。

(2) W/C (W/B) 的确定

C100 混凝土的 W/B 应在 20%左右,如果用水量 $150\text{kg}/\text{m}^3$,那么胶凝材料用量应为 $750\text{kg}/\text{m}^3$ 。胶凝材料用各种粉体的比例为水泥:矿渣:硅粉=7:2:1 左右。在确定的配比中,水泥用量 $\leq 500\text{kg}/\text{m}^3$,实际水灰比 $W/C=30\%$,这样对抑制自收缩开裂十分有利。

(3) 聚羧酸减水剂的应用

选择聚羧酸高效减水剂除了要求减水率以外,还要具有控制坍落度损失的功能。在混凝土中,外掺 2.0%~2.5%的特种外加剂,使聚羧酸高效减水剂缓慢释放,控制坍落度损失。这是本课题研究的特色之一。

(4) 粉体效应的利用

主要考虑粉体的细度和不同粉体组合对 UHP—SCC 流动性及黏聚性的影响(表 1)。

不同细度的矿渣粉对 UHPC 流动性的影响 表 1

编号	比表面积 (m^2/kg)	坍落度 (mm)	扩展度 (mm)	倒筒时间 (s)
1	400	265	650	18.36
2	800	275	685	7.89
3	1000	265	625	8.36

注:试验时: $W/B=0.20$, $C=500\text{kg}/\text{m}^3$, $BFS=212.5\text{kg}/\text{m}^3$, $GP=12.5\text{kg}/\text{m}^3$, $SF=25\text{kg}/\text{m}^3$, $W=150\text{kg}/\text{m}^3$, 高效减水剂的掺量均为相同用量(3.5%)。

由此可以确定选用矿渣粉的比表面积为 $800\text{m}^2/\text{kg}$ 。

不同矿物超细粉的组合对 UHPC 流动性的影响如表 2 所示。

不同矿物质超细粉组合对 UHPC 流动性影响 表 2

粉体组合	坍落度 (mm)	坍后扩展度 (mm)	倒筒时间 (s)
① C+BFS	265	650/630	18
② C+ BFS+SF	275	660/670	9

注: $W/B=0.20$, $W=150\text{kg}/\text{m}^3$, $C=500\text{kg}/\text{m}^3$; ① $BFS+GP=250\text{kg}/\text{m}^3$; ② $GP+ BFS+SF=250\text{kg}/\text{m}^3$ 。

由此可见②的组合,混凝土流动性好,特别是倒筒时间短,混凝土黏度低,对泵送有利。其中因石膏(GP)供应困难,后来取消,扩大了 SF 的用量为 $60\text{kg}/\text{m}^3$, BFS 为 $190\text{kg}/\text{m}^3$ 。

(5) 骨料的选择

正确选择粗骨料的岩种、粒径、粒形及良好的级配是配制 UHPC 的重要环节。

1) 粗、细骨料品种对强度的影响

在相同水灰比及其他配制因素相同的条件下,由于粗骨料品种的不同,配制出的混凝土抗压强度相差约 40MPa ;而由于细骨料的品种差别,造成强度相差约 20MPa 。其中以硬质砂岩碎石及硬质砂岩碎石砂配制出的 UHPC 强度最高,水灰比为 0.25 时,混凝土 28d 抗压强度达到 115MPa ,而采用河砂及砂岩碎石为粗骨料的混凝土 28d 抗压强度只达

到 80MPa。

2) 粗骨料用量与抗压强度关系

试验证明, UHPC 中粗骨料用量为 300L/m³ 时, 混凝土抗压强度差别不大, 但当粗骨料用量增至 400L/m³ 时, 不同骨料混凝土的抗压强度就有很大差别, 约 10MPa。因此, 单方混凝土中粗骨料用量不应超过 400L/m³, 也即 1000kg/m³ 以内。

3) 粒径对抗压强度的影响

在配制 UHPC 时, 应尽可能采用粒径较小的粗骨料, 而且随着混凝土强度提高, 最大粒径的尺寸应进一步降低。配制 UHPC 时应选用 $D_{max} \leq 20mm$, 强度更高时 $D_{max} \leq 10mm$ 。

4) 级配的影响

在本项研究及工程应用中, 选用两级配的粗骨料。对于细骨料采用的是河砂。细度模量为 2.6~2.8 的中砂。对于 UHP—SCC, 选择骨料的最大粒径时, 还要考虑到结构中钢筋的最小间距, 保证混凝土能流过钢筋、自动地填充模板各个部分。

3 试验研究

3.1 试验配合比

见表 3, 共进行 4 组混凝土试验。

混凝土试验配合比 (kg/m ³)										表 3	
编号	水胶比	水泥	矿渣粉	硅粉	载体	沸石粉	砂	碎石	水	KJ-JS	3350
1	0.20	500	190	60	/	/	750	900	150	18.00	/
2		500	90	60	/	/	800	950	130	16.25	/
3		650	60	40	/	/	750	900	150	18.75	/
4	0.22	450	190	60	14	28	750	850	154	/	15.40

3.2 新拌混凝土的流变性能

除了 NO1~4 外, 还加入了 C50 混凝土作对比。结果如表 4~表 6, 及图 2 所示。

混凝土的坍落度、扩展度、倒筒时间								表 4	
配合比编号 及强度	水胶比	倒筒时间及经时损失 (s)		坍落度及经时损失 (mm)		扩展度及经时损失 (mm)			
		初始	120min	初始	120min	初始	120min		
C50	0.33	4.97	16.96	225	185	550	410		
1	0.20	3.44	3.50	265	265	710	695		
2		6.98	10.81	250	250	560	530		
3		8.16	9.17	260	245	570	525		
4	0.22	3.00	4.80	280	250	680	590		

混凝土的压力泌水及流过 U 形仪格栅、L 形仪的性能

表 5

配合比编号及强度	水胶比	压力泌水量 (mL)	T500 时间 (s)	U 形仪 上升高度 (mm)	坍落度 (mm)	扩展度 (mm)	T50 (s)	L 仪流过性能		
								T100 (s)	T300 (s)	T500 (s)
C50	0.33	53	18.14	流不过	205	640	2.19	3.33	9.32	22.34
1	0.20	2	9.51	115	245	900	0.93	1.56	6.40	15.39
4	0.22	1	19.23	335	230	750	2.49	4.48	17.30	54.27

混凝土砂浆的黏度及剪切应力

表 6

配合比编号及强度	速度梯度 (rad/s)	黏度 (mPa · s)	剪切应力 (Pa)
C50	78.5	3600	282.60
1	7.85	25000	196.25
4	7.85	28000	219.80

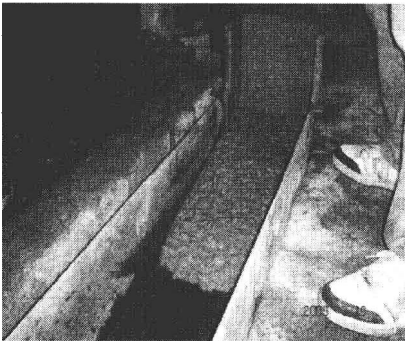
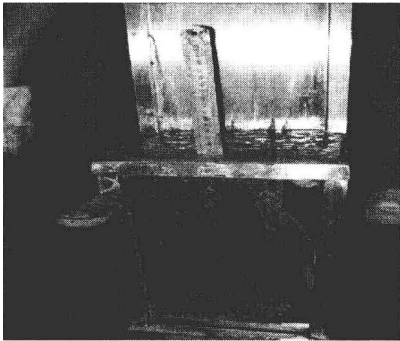


图 2 U 形流动仪上升高度及 L 形流动仪混凝土流动距离

分析以上试验结果可以得出：

- (1) 编号 1、2、3、4 混凝土的坍落度、扩展度及经时损失均良好，但编号 1 及编号 4 混凝土的倒筒时间明显优于编号 2 及编号 3，因此选取编号 1 及编号 4 进行进一步的试验。
- (2) 编号 4 与编号 1 比较，编号 4 的混凝土通过 U 形仪格栅的上升高度明显大于编号 1 的混凝土；混凝土的 T500 时间、在 L 形仪的试验中，编号 4 的混凝土比编号 1 混凝土表现出较大的黏性，其砂浆黏度及剪切应力也较大。
- (3) 本试验中的 C50 泵送混凝土，虽然具有良好的流动性及流动性保持能力，但是无法通过 U 形仪格栅，不具有自密实性，通过对试验数据的对比发现，C50 混凝土砂浆的黏度明显小于编号 1 及编号 4，因此混凝土中砂浆的黏度大小对于混凝土的自密实性至关重要。
- (4) C50 泵送混凝土的压力泌水量远大于编号 1 及编号 4，压力泌水与混凝土的泵送性能密切相关，因此编号 1 及编号 4 的高性能混凝土在高压泵的作用下均具有良好的可泵性。

4 硬化混凝土性能

4.1 各龄期抗压强度 (表 7)

混凝土各龄期抗压强度 表 7

试验编号	抗压强度 (MPa)			
	3d	7d	28d	56d
试件尺寸 (mm)	100×100×100			
1	87.0	108.7	130.8	130.0
2	99.0	96.3	115.0	115.9
3	84.9	88.7	94.9	107.9
4	91.2	106.5	117.3	118

注: 100mm×100mm×100mm 试件折算成 150mm×150mm×150mm 试件的尺寸系数为 0.93

4.2 各龄期抗折强度 (表 8)

混凝土各龄期抗折强度 表 8

配合比编号	龄期	3d	7d	28d	56d
	试件尺寸 (mm)	100×100×400	100×100×400	100×100×400	100×100×400
1	强度 (MPa)	8.4	9.6	10.0	12.4
2		9.0	11.1	12.5	12.6
3		8.5	11.8	11.8	12.2
4		8.3	9.9	11.3	13.1

4.3 各龄期劈裂抗拉强度 (表 9)

混凝土各龄期劈裂抗拉强度 表 9

配合比编号	龄期	3d	7d	28d	56d
	试件尺寸 (mm)	100×100×100	100×100×100	100×100×100	100×100×100
1	强度 (MPa)	6.05	7.15	7.58	8.31
2		7.09	7.13	7.42	8.11
3		5.87	7.17	8.09	8.29
4		6.36	7.09	7.92	8.44

4.4 各龄期轴心抗压强度和弹性模量 (表 10)

混凝土 28d 轴心抗压强度、弹性模量 表 10

配比编号	水胶比	试件尺寸 (mm)	轴心抗压强度代表值 (MPa)	弹性模量 (MPa)	
				单个值	平均值
1	0.20	150×150×300	101.7	47500	47900
				48600	
				47700	

续表

配比编号	水胶比	试件尺寸 (mm)	轴心抗压强度代表值 (MPa)	弹性模量 (MPa)	
				单个值	平均值
2	0.20	150×150×300	114.7	59300	59500
				59600	
				59600	
3	0.20	150×150×300	119.5	64500	63300
				62400	
				63100	
4	0.22	150×150×300	113.2	49900	48400
				46200	
				49100	

5 混凝土的收缩与开裂的检测

5.1 混凝土的自收缩、早期收缩及长期收缩试验

按照 NO.1、2、3、4 配比，搅拌混凝土，进行自收缩、早期收缩及长期收缩的试验，如图 3 所示。(试验过程中，由于配方 2 的收缩值始终最小，因此没有继续进行长期收缩的试验；又由于时间所限，长期收缩的数据只到 56d)。混凝土自收缩测试结果如图 4 及表 11 所示。混凝土的早期收缩与 56d 的收缩如图 5、图 6 所示。

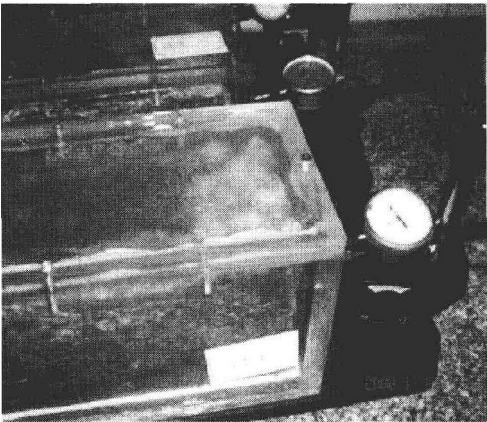


图 3 混凝土收缩试验

自收缩试验结果

表 11

配合比 1		配合比 2		配合比 3		配合比 4	
经历时间 (h)	平均收缩值 ($\times 10^{-6}$ mm)	经历时间 (h)	平均收缩值 ($\times 10^{-6}$ mm)	经历时间 (h)	平均收缩值 ($\times 10^{-6}$ mm)	经历时间 (h)	平均收缩值 ($\times 10^{-6}$ mm)
0	0	0	0	0	0	0	0
2	13.17	2	13.80	2	2.40	2	1.67
4	15.20	4	17.63	4	4.40	4	5.33
6	18.37	6	23.53	6	9.57	6	11.07
8	23.53	8	31.67	8	19.27	8	14.37
10	35.53	10	41.90	10	38.97	10	16.53
12	53.37	12	50.93	12	54.40	12	18.13
14	67.50	14	57.93	14	74.05	14	20.83
16	73.87	16	56.10	16	85.70	16	23.20
18	91.97	18	56.37	18	85.85	18	25.37
20	99.63	20	51.93	20	87.05	20	27.17
22	101.27	22	51.93	22	89.20	22	29.90
24	103.20	24	52.80	24	92.50	24	34.70

续表

配合比 1		配合比 2		配合比 3		配合比 4	
经历时间	平均收缩值	经历时间	平均收缩值	经历时间	平均收缩值	经历时间	平均收缩值
(h)	($\times 10^{-6}$ mm)	(h)	($\times 10^{-6}$ mm)	(h)	($\times 10^{-6}$ mm)	(h)	($\times 10^{-6}$ mm)
28	108.53	28	55.77	28	99.05	28	38.60
32	117.23	32	60.07	32	106.45	32	40.10
36	125.17	36	62.63	36	112.85	36	42.50
40	127.90	40	64.87	40	115.45	40	46.87
44	132.77	44	66.43	44	116.45	44	50.47
48	133.13	48	67.77	48	117.45	48	59.30
56	141.57	56	71.27	56	122.90	56	60.50
64	150.43	64	77.13	64	129.90	64	66.90
72	152.90	72	80.80	72	129.40	72	75.53
80	154.47	80	82.03	80	133.65	80	87.77
90	159.77	90	85.70	90	137.00	90	90.00
106	164.43	106	88.60	106	138.45	106	92.35
130	173.33	130	94.10	130	144.30	130	97.40
154	184.20	154	98.23	154	152.80	154	98.90

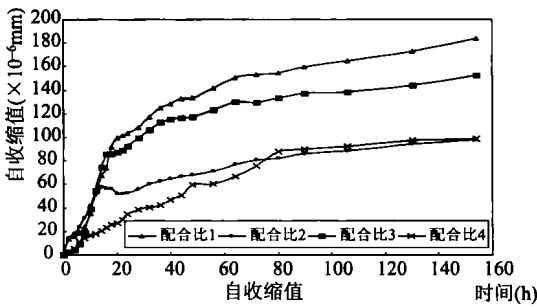


图 4 混凝土的自收缩测定值

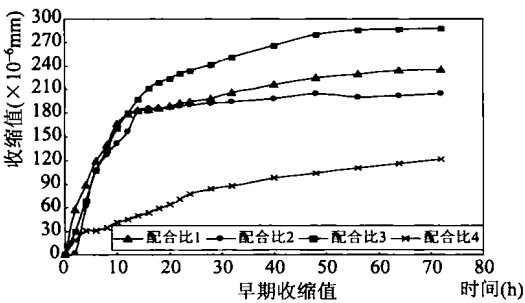


图 5 混凝土的早期收缩测定值

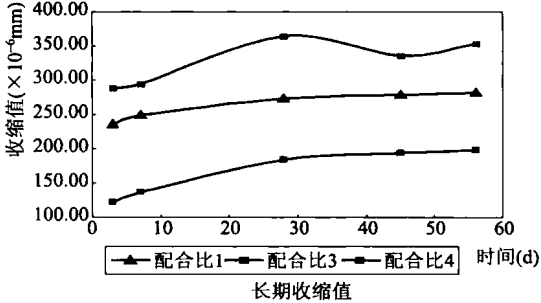


图 6 混凝土的长期收缩 (56d) 测定值

从检验结果及图表分析,可以发现以下规律:

(1) 在早期 (12h 内), 配比 1、2、3 的自收缩值接近, 其后三者的差距逐渐加大, 配比 1 的自收缩量最大, 其次是配比 3、配比 2 及配比 4。

(2) 在观测的早期 (12h 内), 配比 1、2、3 的干燥及自收缩值差距并不大, 其后三者的差距逐渐加大, 收缩值由大到小依次为配比 3>配比 1>配比 2。在整个观测期间, 配比 4 的早期收缩及长期收缩值均小于其他 3 个配比。

(3) 配比 1、2、3 的混凝土, 在初期的自收缩及干燥收缩速率均较快, 随后逐渐减慢; 但配比 4 的混凝土自收缩及干燥收缩速率却相对比较平稳, 其收缩值与时间关系曲线相对其他 3 个配比的混凝土更平缓, 这与所掺入的沸石粉是一种多孔材料有关。

5.2 平板开裂试验

本项试验中, 4 个配比的混凝土平板试验如图 7 所示, 在成型后均放在阳光下暴晒, 并同时使用大功率风扇向试件表面送风, 24h 龄期时记录试验数据, 按前述方法整理结果。表 12 是平板开裂试验后整理出来的试验结果, 其中“平均每条开裂面积”表示了混凝土裂缝的大小, “单位面积开裂数量”表示了混凝土裂缝的多少, 两者的乘积“单位面积总开裂面积”则代表了混凝土裂缝的整体情况。

平板开裂试验数据

表 12

配合比编号	水胶比	裂缝数量 (条)	平均每条开裂面积 (mm ² /条)	单位面积开裂数量 (条/m ²)	单位面积总开裂面积 (mm ² /m ²)
1	0.20	7	10.11	19	196.53
2		65	11.54	181	2083.4
3		30	44.22	83	3685.35
4	0.22	8	12.66	22	281.33

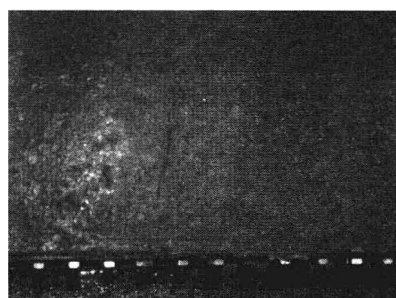


图 7 混凝土平板开裂检测

从表 12 的数据分析, 可以得出以下结论:

在施工应用的条件下, 混凝土抵抗开裂的能力从强到弱依次是: 配比 1>4>2>3; 配比 1 及配比 4 的混凝土抗裂能力比较接近, 而且远远优于配比 2 及配比 3 的混凝土, 两者的“单位面积总开裂面积”相差近十倍。

6 UHP—SCC 超高泵送的施工试验

6.1 UHP—SCC 配合比

广州西塔工程项目部于 2008 年 12 月 6 日进行了 UHP—SCC 411m 的超高泵送施工试验。施工部位为主塔楼 98 层墙柱, UHP—SCC 约 20m³。配合比如表 13 所示。

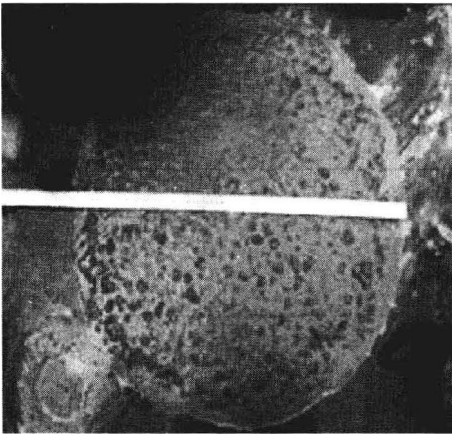
C100UHP—SCC 配合比 (kg/m ³)									表 13	
W/B	水	水泥	矿渣粉	硅	砂	碎石		减水剂	特种矿物 超细粉	特种 外加剂
						10~16mm	5~10mm			
0.22	154	450	190	60	750	760	85	16.8	28	17.5

6.2 UHP—SCC 进场检验及泵送施工检测

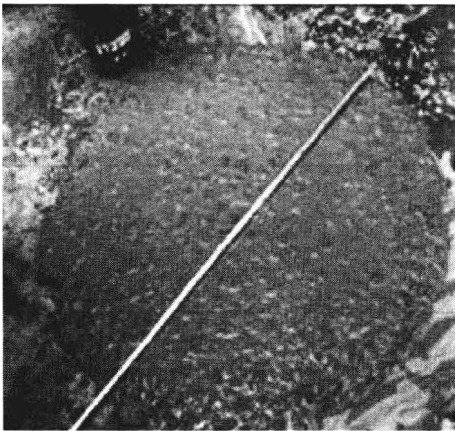
(1) UHP—SCC 的进场检验

UHP—SCC 混凝土进入现场后检测项目如下：坍落度、坍后扩展度、压力泌水。混凝土抗压强度试件分别在泵送前、泵送后进行取样、制作并进行强度对比。

UHP—SCC 超高泵送的现场试验情况如图 8 所示，抽样检测结果如表 14～表 16 所示。



泵后（坍后扩展度780mm）



泵前（坍后扩展度750mm）

图 8 现场试验情况

2008 年 12 月 16 日 UHP—SCC 超高 (h=411m) 泵送试验					表 14
编号	取样点	坍落度 (mm)	扩展度 (mm)	倒筒时间 (S)	
1	泵前	280	760	6.7	
2		275	750	5.9	
3	泵后	280	780	3.3	

30MPa 下的压力泌水试验结果					表 15
	试验编号	V ₁₀ (mL)	V ₁₄₀ (mL)	S ₁₀ (%)	
UHP—SCC	3	0	3	0	

6.3 现场可泵性检测结果

《混凝土泵送施工技术规程》(JGJ/T10) 中规定：混凝土的可泵性可用压力泌水试验

结合施工经验进行控制。一般 10s 时的相对压力泌水率 S_{10} 不宜超过 40%。根据广州西塔工程中联重科提供的超高压泵参数，混凝土出口压力最大值为 40MPa，本课题进行了 UHP—SCC 拌合物在 30MPa 下的压力泌水试验，试验结果如表 16、图 9 所示。

强度检测结果 (MPa)					表 16
成型方式	取样点	3d	7d	28d	56d
振捣	泵前	85.7	104.1	121.4	120.8
免振		89.5	102.3	122.5	118.4
振捣	泵后	84.7	100.5	104.9	119.8
免振		77.7	103.5	120.1	114.1

(抗压强度试件尺寸为 100mm×100mm×100mm 时，尺寸系数取 0.93)

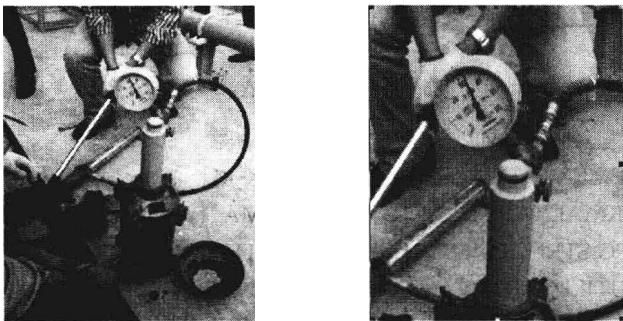


图 9 30MPa 下的压力泌水试验

由表 15 及图 9 可知，UHP—SCC 由于采用超细矿物掺合料、特种外加剂等材料及合理的配合比设计，其拌合物即使在 30MPa 的压力下也不会发生泌水现象，因此，保证了超高泵送的顺利进行。

6.4 强度检测结果

2008 年 12 月 16 日 UHP—SCC 超高 (h=411m) 泵送试验送检结果 表 17

检测单位：广东省建设工程质量安全监督检测总站				
	样品编号	取样点	龄期	强度 (MPa)
UHPC	20186—01	泵前	28d	111.3
	20186—02			122.5
UHP—SCC	20186—03			103.3
	20186—04			105.0

(试件尺寸：100mm×100mm×100mm，尺寸系数：0.95)

7 结 束 语

1. 采用天然沸石超细粉配制 UHP—SCC，可不用增稠剂。混凝土的流动性大，但黏聚性好，不泌水，不离析，不分层，U 形流动试验时能均匀流过钢筋，上升达 32cm，1h 后仍达 30cm 高度。

2. 在 UHP—SCC 组成中, 还采用了特种外加剂, 能使减水剂缓慢析放到混凝土中, 保持混凝土的塑性达 4h, 而又无泌水、离析和缓凝现象。其拌合物即使在 30MPa 的压力下也不会发生泌水。经过泵前与泵后的采样对比, 工作性能变化不大, 满足了超高泵送施工要求。

3. 试验的 UHP—SCC 振捣与免振试件的抗压强度差不多, 说明其自密实性好, 有利于高密度钢筋的施工要求。UHP—SCC 28d 强度 $\geq 108\text{MPa}$ (试验室 28d 强度 $\geq 117\text{MPa}$), 满足配合比设计要求。

4. 与具有相同配比的 UHPC 相比, UHP—SCC 的自收缩、早期收缩及长期收缩值均相应较低。平板开裂试验数据也证明, 本研究的 UHP—SCC 的抗裂性能较好。这是由于掺入了天然沸石超细粉及特种外加剂之故。

由此可见, 我们配制的 UHPC 及 UHP—SCC 具有的超高泵送的性能, 都是由于合理的应用了这一特种功能粉体——天然沸石超细粉的结果。

参考文献

- [1] 冯乃谦. 高性能混凝土结构 [M]. 北京, 机械工业出版社, 2003.
- [2] 笠井芳夫等. 新 CEMENT. CONCRETE 用混和材料 [M]. 东京, 技术书院, 2006.
- [3] H. OKAMURA, KMAEKAWA, AND T. MISHIMA PERFORMANCE BASED DESIGN FOR SELF-COMPACTING STRUCTURAL HIGH-STRENGTH CONCRETE SEVENTH INTERNATIONAL SYMPOSIUM ON UTILIZATION OF HS/HPC WASHINGTON JUNE 20-24, 2005.
- [4] H. JINNAI, S. KUROIWA, S. WATANABE, S. NAMIKI, AND M. HAYAKAWA DEVELOPMENT AND CONSTRUCTION RECORD ON HIGH-STRENGTH CONCRETE WITH THE COMPRESSIVE STRENGTH EXCEEDING. 150 MPa SEVENTH INTERNATIONAL SYMPOSIUM ON UTILIZATION OF HS/HPC WASHINGTON JUNE 20-24, 2005.

谢辞: 本项目在研究和施工应用的过程中, 除了西塔工程项目部的人员共同努力以外, 中联重科、广东越秀集团, 以及广东省、广州市的检测部门以及天达混凝土公司等单位均为本项目作出了贡献。

本文由冯乃谦执笔, 错误难免, 望批评指正!